

УДК 629.7

І.В. Масненко, студент гр. ПБ-91мп, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИЛАДІВ

Анотація. У даній статті розглянуто основні методи оптимізації топології конструкцій: ESO (метод еволюційної оптимізації конструкцій), BESO (двобічний метод еволюції оптимізації конструкцій), SIMP (метод пеналізації для твердого ізотропного тіла) Приведені теоретичні основи методологій та області застосування. Виділені їх переваги та недоліки.

Ключові слова: топологічна оптимізація, метод еволюційної оптимізації конструкцій, двобічний метод еволюції оптимізації конструкцій, метод пеналізації для твердого ізотропного тіла

ВСТУП

Зниження маси і збільшення міцності конструкцій є одним з пріоритетних завдань в сучасному приладобудуванні. Вирішення даної проблеми напряму пов'язано з геометричними формами деталей, що проектуються за допомогою методів топологічної оптимізації. Їхнє застосування дозволяє знайти найкращі параметри конструкції, які задовольняються технічними та фізичними параметрами.

Топологічна оптимізація (ТО) – це розподіл матеріалу в області проектування при впливі на нього заданого навантаження і використанні обмежень різного роду: геометричного, міцнісного, жорсткісного та ін. Методологія включає в себе три тісно зв'язані, але розбіжні за своєю постановкою проблеми та її вирішенням: оптимізація розмірів, форми і топології структур.

Застосування топологічної оптимізації в приладобудівній галузі є відносно новим компонентом процедури проектування та набуло найбільшої популярності зі стрімким розвитком адаптивних технологій, які значно розширюють область конструктивних проектувань однотипних деталей приладів. Основними завданнями є мінімізація об'єму та маси при збереженні функціональних характеристик виробу [1].

У наш час відомі наступні основні методи ТО: SIMP (solid isotropic material with penalisation), ESO (evolutionary structural optimization) та їх різноманітні комбінації. Дані засоби мають свої особливості, але в той же час тісно пов'язані між собою.

Для реалізації методологій в сучасні програмні CAD/CAE – системи містять спеціальні модулі для полегшення виконання завдань оптимізації: OptiStruct від Altair Hyper-Works та SIMULIA Tosca, який застосовується в Abaqus, ANSYS і MSC Nastran.

ESO/BESO - МЕТОД

Еволюційна оптимізація конструкцій (evolutionary structural optimization) і двобічна еволюційна оптимізація конструкцій (bi-directional evolutionary structural optimization) стрімко розвиваються в останні роки. Ці напрямки спрямовані на знаходження найкращого розміщення і проектування геометрії пустот в середні області моделювання. Вони класифікуються, як методи від

супротивного, які інтенсивно видаляють або додають кінцеву кількість матеріалу, використовуючи евристичні критерії, які строго напрямлені на досягнення визначених функціональних параметрів. Спосіб ESO являється простим в реалізації, що є суттєвою перевагою для завдань ТО розподілення конструктивних навантажень.

Основою є концепція видалення матеріалу, відповідно до якої не напружений матеріал може бути видаленим, що дозволяє значно зменшити вагу деталей. Даний цикл кінцевих елементів і їх видалення ітераційно повторюється з використанням одного і того ж порогового кінцевого значення, до досягнення стійного стану, тобто відсутності не напружених елементів. Процес продовжується поки не буде досягнутий бажаний результат (рис. 1).

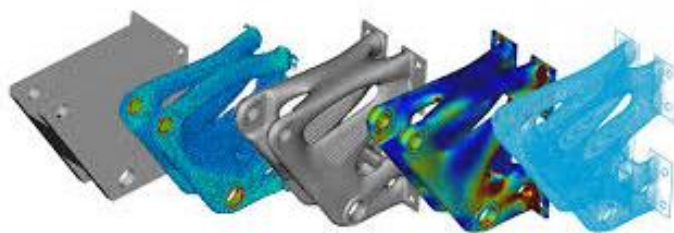


Рис .1. Застосування топологічної оптимізації

Однак видалений матеріал на ранніх ітераціях може бути корисним на наступних, але даний метод не дозволяє відновити його, таким чином в ряді випадків, він не дозволяє отримати бажаний результат. Ці недоліки усуваються в методології BESO.

BESO метод дозволяє одночасно додавати і видаляти матеріал в області проектування. Відмінність від ESO заключається в тому, що індекс чутливості в пустотілих елементах визначається шляхом лінійної екстраполяції поля зміщення, який отримуємо в результаті аналізу кінцевих елементів. Після чого заповненні елементи з мінімальним значенням видаляються, а пусті елементи з найбільшими значеннями напружки заповнюються додатковим матеріалом. Даний метод теж являється ітеративним, до досягнення бажаного результату функціоналу [2, 3].

SIMP-МЕТОД

Наступним методом ТО являється SIMP-метод (пеналізації для твердого ізотропного тіла), який базується в створенні поля віртуальної щільності, представляє аналог деякої реальної характеристики об'єкта. Призначення методу полягає в зменшенні піддатливості конструкції внаслідок перерозподілу матеріалу в конструкторському просторі при відомих граничних умовах (рис. 2). Результатом моделювання буде об'єкт, який відповідає рамкам поставлених завдань. Найбільше застосування даний метод отримав в адаптивних технологіях.

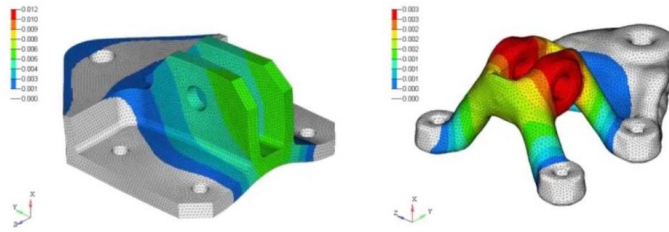


Рис .2. Топологічно оптимізована деталь під впливом методу кінцевого навантаження

SIMP широко застосовується в приладобудуванні та інших галузях. У якості розрахункової змінної розглядається щільність матеріалу. Оптимальна структурна топологія отримується шляхом перерозподілу матеріалу всередині області основі критеріїв оптимальності або методами математичного програмування [4].

ВИСНОВОК

Вище наведені методи мають проблему установлення в тілі конструкції, не зв'язаних між собою об'ємів матеріалів, залежність від розбиття матеріалу та проблему локального мінімуму. Схема оптимізованої моделі має розриви, суцільності і незв'язані «пухирці» матеріалу, дані проблеми вирішуються різноманітними схемами фільтрації.

Залежність від структурного розбиття заключається в тому, що використання різноманітних кінцевих сіток приводить до оптимальних топологій. Ця проблема вирішується з використанням методу керованого периметру і схеми фільтрації напружень. Але в загальному випадку проблема кінцевих елементів розбиття сіток до цього часу не вирішена.

BESO частково вирішує проблеми ТО, даний метод аналізує на кожній ітерації напружений стан кінцевих елементів. У результаті цього відбувається урівноваження наповненості матеріалами конструктивної області.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Мاستенко І. В., Стельмах Н. В. Застосування топологічної оптимізації при проектуванні деталі типу кронштейн // *XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні»*, 10-11 грудня 2019 року, м. Київ, Україна : збірник праць конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, ФММ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019р. – С. 147–150.

[2] Мастенко И. В, Стельмах Н. В. Влияние плотности заполнения 3d-печатных моделей на их прочностные характеристики / *Новые направления развития приборостроения. Материалы 12-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов.*, БНТУ, Минск. 2019 г. - С. 138.

[3] Sigmund, Ole; Maute, Kurt (2013). "Topology optimization approaches". *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 48 (6): 1031–1055

[4] Meisel N A, Williams C B and Druschitz A 2012 *Proc. of the Int. Solid FreeformFabrication Symp* pp. 162-176

Наук. керівник – к.т.н., доц. Стельмах Н.В.